玉米赤霉烯酮对猪生产的影响及其毒性吸附研究

陈继发　曲湘勇*　彭灿阳　彭豫东

（湖南农业大学动物科技学院，长沙 410128）

摘　要：玉米赤霉烯酮毒性强，主体饲料中很常见，生产中常利用霉菌毒素吸附剂来降低玉米赤霉烯酮对动物的毒性作用，并取得了一定效果。本文综述了玉米赤霉烯酮对猪繁殖机能、免疫功能和仔猪生长性能的影响及其机制，并阐述了吸附法去除玉米赤霉烯酮毒性的研究进展。

关键词：玉米赤霉烯酮；作用机制；吸附剂；猪

中图分类号：S816.9　　文献标识码：A　　文章编号：1006-267X(2016)00-0000-00

联合国粮农组织（FAO）2002 年调查表明，全球约 1/4 的粮食不同程度上受到霉菌毒素的污染，其中受玉米赤霉烯酮（zearalenone，ZEN）污染很严重[1]。ZEN 是从赤霉病的玉米中分离获得[2]，是一种主要由禾谷镰刀菌（*Fusarium graminearum*）产生的次级代谢产物，具有很强的毒性，有玉米赤霉烯醇、7－脱氢玉米赤霉烯酮和 8－羟基玉米赤霉烯酮等多种衍生物[3]。ZEN 广泛存在于谷物、食品和配合饲料中，畜禽 ZEN 中毒后表现为食欲降低、生长迟缓和免疫抑制；持续中毒会危害母畜繁殖机能，公畜表现出"雌性化"；急性中毒会使家畜的神经系统和心脏、肝等脏器受到损害[4-5]。农作物在生长过程中会受到禾谷镰刀菌的污染。此外，农作物贮藏时若温度、湿度控制不当，会使禾谷镰孢大量繁殖并产生更多的毒素，这使得粮食和饲料在贮藏过程中很难避免不受毒素的污染，因此控制 ZEN 对粮食和动物饲料的污染是全世界面临的重大难题。

ZEN 传统的去毒方法有物理方法如高温法、辐照法，化学方法如碱法、氨化法等，这些方法存在营养成分损失较大、效果不稳定和规模化应用难度大等不足。此外，许多研究人员尝试利用微生物降解饲料中的霉菌毒素，但因微生物存在降解不稳定、易退化和反应时间长，且能被降解的霉菌毒素种类少等问题，实际生产中应用较少。当前，解决饲料中霉菌毒素污染问题采取的主要措施是在饲料中添加霉菌毒素吸附剂。国外报道称 ZEN 对猪的危害

收稿日期：2015－09－09

基金项目：湖南农业大学产学研合作项目（14035）

作者简介：陈继发（1992－），男，湖南邵阳人，硕士研究生，研究方向为动物生产与饲料营养。E-mail: 18373171384@163.com

*通信作者：曲湘勇，教授，博士生导师，E-mail: quxy99@126.com

最大，已成为养猪业的第二大杀手。目前，系统阐述 ZEN 对猪生产性能影响的报道还很少。因此，为了方便人们系统了解 ZEN 对猪生产的危害，本文从繁殖、生长和免疫三个方面介绍了 ZEN 对猪生产性能的影响及其机制；同时阐述了几种常见霉菌毒素吸附剂对 ZEN 的脱毒效果，并指出了当前霉菌毒素吸附剂应用存在的不足，同时对霉菌毒素吸附剂的应用发展提出了几点建议和展望，以帮助畜牧生产者积极应对霉菌毒素污染问题。

1　玉米赤霉烯酮对猪生产性能的影响及其机制

我国《饲料卫生标准》要求饲料及饲料原料中 ZEN 的含量不得高于 500 μg/kg。国外报道称猪对 ZEN 最为敏感，饲粮中添加 1~5 mg/kg 的 ZEN，猪就会出现临床症状[6]；研究还表明，1~10 nmol/L ZEN 会使雌激素受体被激活而发生转录，并使家畜的采食量降低、生长缓慢、免疫抑制、繁殖障碍，这给养猪场带来巨大的经济损失[7]。

1.1 对繁殖机能的影响

ZEN 与内源性雌激素在结构上很相似，可以竞争性地与雌激素受体结合，使雌激素反应元件激活，造成受体二聚化，进而引发一系列拟雌激素效应，致使猪体内生殖激素发生紊乱，最终使猪生殖系统受到破坏[8]。母猪发生 ZEN 中毒后表现出“雌激素综合征”，这是 ZEN 对母猪繁殖性能的主要影响。大量研究表明，母猪采食被 ZEN 污染的饲粮，会出现外阴红肿、卵巢萎缩、发情间隔延长、假发情、流产、不孕和死胎等[9-10]。因 ZEN 具有类雌激素作用，能抑制卵泡刺激素的分泌及释放，进而抑制了早期卵泡的成熟，使母猪不断表现发情却不能正常排卵[11]。ZEN 引起死胎的原因可能是其改变子宫组织的形态结构，使胎儿正常发育的环境受到破坏，同时 ZEN 也可以经胎盘直接进入胎儿体内影响胎儿发育[12]。

Obremski 等[13]连续 7 d 按母猪每千克体重饲喂 0.2 和 0.4 mg ZEN，母猪卵泡发生闭锁，颗粒细胞凋亡。高浓度的 ZEN 对母猪颗粒细胞的增殖会产生抑制，能够诱导线粒体膜电位的丢失和活性氧水平升高，因此增加了颗粒细胞凋亡和坏死的几率[14]。ZEN 及 α－玉米赤霉烯醇（α-ZOL）可以使体外培养的卵母细胞分裂中期的成熟率降低，同时异常增加细胞染色质的数目，较高剂量 ZEN 可明显降低卵母细胞的成熟率[15]。此外，羟基类固醇脱氢酶（HSD）对雌激素和睾酮的合成有重要作用，ZEN 是 3α-HSD 和 3β-HSD 的底物，它们可参与性腺类固醇激素的生物转化，合成细胞色素 P450 蛋白和 HSD；ZEN 能积累活性组分，在一定程度上能抑制卵泡发育重要因子 3α-HSD 的还原；同时 ZEN 还能通过作用于刺激素受体对 HSD 产生干扰进而影响动物生殖机能[16]。

Gajecka 等[17]连续 48 d 给 2 月龄母猪饲喂含 20 和 40 μg/kg ZEN 的饲粮，结果发现低剂量组的母猪子宫内膜充血、子宫内腺体萎缩和子宫壁增生；而高剂量组的母猪子宫内膜结缔

组织发生玻璃样变，子宫壁肌细胞出现透明样变及坏死。ZEN 对母猪子宫影响的机理可能是 α-ZOL 与母猪子宫内膜的雌激素受体有较高的亲和力，与雌激素竞争靶组织细胞上的受体，促进子宫 DNA、RNA 和蛋白质的合成，进而引发母猪雌激素亢进症[18]。此外，ZEN 可改变减数分裂过程中纺锤体的形成，导致卵母细胞及多倍体胚胎滋养不足，进而影响子宫正常的生理功能。

ZEN 对公猪的生殖机能也会造成危害。研究表明，公猪持续采食被 ZEN 污染的饲粮，会出现乳头肿大、乳腺增大、包皮水肿和睾丸萎缩等"雌性化"症状[19-20]。Minervini 等[21]研究表明，给公猪持续饲喂含 9 mg/kg ZEN 的饲粮，会使其睾丸萎缩，精液密度显著降低；公猪饲喂含 ZEN 的饲粮 32 d 后，发现其射精量比正常减少 40.8%，且用后 1 周内，精子的数量显著减少，精液的品质也明显降低[22]。Sambuu 等[23]研究表明用含 1 mg/kg ZEN 的饲粮饲喂断奶公猪可使其生殖器官指数显著降低。ZEN 及其代谢产物减少精子生成的机理可能是其对绒毛膜促性腺激素诱导的睾酮分泌的显著抑制作用，ZEN 和 α-ZOL 可通过下调 3β-HSD-1、细胞色素 P450scc 以及对生成固醇调节蛋白的转录产生抑制使睾酮的合成减少，进而影响精子的生成[16]；同时，ZEN 和 α-ZOL 会使公猪精子与透明带的结合能力降低以及破坏精子染色质的完整性，对机体正常的受精能力和胚胎发育产生不利影响[24]；此外，ZEN 与猪生育相关的精子参数有密切关联，α-ZOL 能够降低活动精子百分比，使受精率降低[25]。

1.2　对仔猪生长性能的影响

ZEN 能够影响仔猪内脏器官的发育。在饲粮中添加 1~3 mg /kg ZEN，检测表明 ZEN 对仔猪消化道、心脏和肺脏的发育影响不显著(P>0.05)，却显著增加了仔猪的肝脏、肾脏和脾脏重(P<0.05）[26]。ZEN 对仔猪采食量及日增重影响研究的结论不一致。Šperanda 等[27]给断奶仔猪饲喂含 3 mg/kg ZEN 的饲粮一段时间后，发现其平均日采食量、平均日增重及饲料报酬变化不明显；赵虎等[26]按仔猪每千克体重饲喂 1、2 和 3 mg ZEN 发现仔猪平均日增重和料重比未发生显著变化(P>0.05)；Powell-Jones 等[28]通过对 ZEN 的化学结构分析，表明 ZEN 有潜在的促进生长作用；ZEN 催化加氢后形成的玉米赤霉醇（zearalanol），已被同化成类激素形式而商品化，作为一种生长促进剂应用于反刍动物生产中；此外，ZEN 及其代谢产物在灵长类、啮齿类和猪体内有合成代谢活性[29]。而 Swamy 等[30]用自然感染 ZEN 的饲粮饲喂断奶仔猪，结果发现仔猪采食量及日增重明显降低。综合分析，自然感染 ZEN 的饲粮中可能含有多种霉菌毒素，有可能是其他毒素或 ZEN 与其他毒素相互作用而引起仔猪生长性能下降。此外，ZEN 在体内积累达到一定的量才会对仔猪产生毒害作用，降低其料重比，因而早期可能表现出良好的生长性能。因此，ZEN 对仔猪采食量及日增重的影响还有待进

一步探讨。

1.3　对免疫机能的影响

研究表明，ZEN 及其衍生物会对猪白细胞介素－8 和中性粒细胞等重要的先天免疫参数产生影响，能够显著降低血清中免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 M（IgM）和免疫球蛋白 G（IgG）水平[31]。姜淑贞[32]在断奶仔猪饲粮中添加 1.0 mg/kg ZEN，发现断奶仔猪血清中 IgG、血红蛋白含量以及 21 日龄仔猪血清猪瘟抗体水平显著低于对照组(P<0.05)；而赵虎等[26]给仔猪饲喂含 1、2 和 3 mg/kg ZEN 的饲粮 18 d，发现仔猪血清中 IgM 和 IgG 的含量显著提高(P<0.05），白细胞记数增加(P<0.05），同时淋巴细胞比例也显著提高(P<0.05）。ZEN 能抑制植物血凝素刺激的人外周血淋巴细胞增殖，还能抑制刀豆素 A 和美洲商陆有丝分裂原刺激的淋巴 B 细胞和淋巴 T 细胞形成[7]; Vlata 等[29]也发现高浓度的 ZEN 能通过刺激植物凝集素和有丝分裂原抑制淋巴 T 细胞和淋巴 B 细胞的增殖。

姜淑贞[32]研究表明给仔猪饲喂含 2.0 mg/kg ZEN 的饲粮可改变脾脏组织结构，显著降低脾脏器官指数(P<0.05)；而赵虎等[26]研究发现用含 1~3 mg/kg ZEN 的饲粮饲喂仔猪 18 d，可显著提高仔猪胸腺和脾脏指数(P<0.05)。以上可以看出，ZEN 对猪免疫功能影响的研究结果不一致。综合分析，ZEN 对动物机能的影响需要一定的时间，试验周期是影响研究结论不同的可能因素；另外，机体抵抗力、饲养管理水平和环境也有一定影响。

2　ZEN 的预防及其吸附

近年来，配合饲料及饲料原料受霉菌毒素污染的现象越来越严重。龚阿琼等[33]对 2014 年我国饲料及原料中霉菌毒素的含量进行了测定与分析，检测了来自东北、广西、湖南等地区饲料及原料 245 份，结果表明饲料原料中 ZEN 检出率接近 90%，超标率为 3.3%，最高含量达 1 920.2 μg/kg；玉米和玉米副产品中 ZEN 检出率、超标率分别为 84.4%、3.1%和 100%、6.8%，最高含量分别达到 1 064.7 和 1 920.2 μg/kg。季海霞等[34]收集 2014 全国各地饲料、原料共 612 份，样品霉菌毒素的总体检测结果表明 ZEN 和呕吐毒素阳性检出率均为 100%，最高含量分别达到 1 778.52 和 4 416.57 μg/kg，均已远远超过最高限量（ZEN 为 500 μg/kg，呕吐毒素为 1 000 μg/kg），且都来源于玉米蛋白质饲料；同时发现 ZEN、呕吐毒素和黄曲霉毒素普遍共存于饲料及饲料原料中。

2.1　ZEN 的预防

抑制 ZEN 的产生首先要从“防”做起，必须从饲料原料的生长入手，给农作物提供适宜的生长环境，确保水源充足、水质良好。干旱环境下，农作物对霉菌的抵抗力会降低，农作物感染霉菌的几率增加；在农作物生长时，为其接种 ZEN 不产毒菌株，与产毒菌株形成竞

争性抑制，使产毒菌株的生长受到抑制，进而使农作物感染 ZEN 的几率降低。Pitt 等[35]在田间接种黄曲霉不产毒菌株，发现花生感染黄曲霉毒素的几率降低 95%以上，目前很少有接种 ZEN 不产毒菌株应用研究的报道，今后可努力开展这方面的研究。

霉菌繁殖的最佳温度为 20~30 ℃，相对湿度为 80%~90%，当饲料中水分含量达到17%~18%时，霉菌也容易繁殖。ZEN 常在水分含量为 22%~25%的高湿玉米、结块饲料和发霉干草中检出[36]，因此储存原料时要严把质量关，严格控制原料水分含量；仓库保持通风干燥，定期检查、翻动饲料原料；及时清理已发霉的原料；饲料原料运输、加工过程中也要严格控制水分和温度，防止原料因雨淋、潮湿和高温等因素发生霉变，必要时可考虑加入一定的生物防霉剂[37]；同时，加工饲料原料时要讲究方法，严格遵守工艺流程。

2.2　霉菌毒素吸附剂对 ZEN 的吸附

吸附霉菌毒素的机理主要是通过静电吸附力和分子间的作用力，在真菌毒素被肠道吸收之前，有效地吸附剂能吸附它们，并使其形成无活性的物质。同时吸附剂可以在胃肠管道上紧紧绑定毒素，使其生物利用效率大大降低。当前，常见的吸附剂有活性炭、黏土类吸附剂、酵母细胞提取物和复合型霉菌毒素吸附剂（如铝硅酸盐和酵母细胞壁提取物的加工品）等。由于活性炭添加后饲料严重变黑，同时增加了饲料成本，生产上已很少使用。

黏土的化学结构主要为硅酸盐或铝矽酸盐（如膨润土、沸石、蒙脱石、页硅酸盐和水合铝矽酸钠等），它作为一种天然的吸附剂，有大量无机多孔物质在其硅酸盐四面体周围，每一个硅离子四周均有 4 个氧离子，即形成了一个片状结构，饲料中的霉菌毒素能被电荷吸引过来，并吸附在多孔结构中，从而达到脱毒的效果。Avantaggiato 等[38]通过建立胃肠管道模型，模拟小肠中 ZEN 的吸收情况，在饲料中添加 2%的吸附剂(消胆胺和活性炭）模拟 ZEN 的实际利用率，发现添加前约有 32%的 ZEN 被小肠吸收，而添加后只有 16%（消胆胺）和5%（活性炭）的 ZEN 被小肠吸收，很大程度上减少了小肠对 ZEN 的吸收；AFRIYIE-GYAWU 等[39]试验表明在发霉饲料中添加锂蒙脱石、蒙脱黏土均可以使 ZEN 的含量有效减少；王黎文等[40]在奶牛饲粮中添加 0.5%蒙脱石，发现奶牛的平均日采食量、产奶量和 4%标准乳产量大大提高。但黏土类吸附剂的添加量较高，且只能吸附少数的真菌毒素，同时它们不能降解，随粪便排出动物体外后会危害环境。

酵母细胞提取物——酵母细胞壁是一种多孔的碳水化合物，其有效成分是酵母细胞内壁的葡甘露聚糖（glucoman-nan，GM）。GM 是一种高分子多糖，可以通过离子键、氢键以及疏水作用力对霉菌毒素产生吸附力，在 pH 为 3~8 的范围内均能吸收霉菌毒素，同时对消化道中营养成分破坏较小，在多数畜禽消化道 pH 环境中均能发挥作用，并具有添加量少的特

点。张丽霞等[41]利用啤酒酵母 *β–D*–葡聚糖吸附 ZEN，发现最大可以吸附 2.29 μg/mg 的毒素；徐学明等[42]利用酵母葡聚糖合成了交联羧甲基复合变性葡聚糖，并通过试验表明其对 ZEN 的最大吸附量达到 18.64 μg/mg，比酵母葡聚糖的吸附效果更佳。

GM 经过酯化后形成酯化葡甘露聚糖(EGM)。EGM 是一种天然的霉菌毒素吸附剂，其表面有许多小孔，表面积大，研究表明其对 ZEN 有较好地吸附作用。肉鸡饲粮中添加 0.05% EGM 能吸附 ZEN，肉鸡采食量、平均日增重和饲料报酬均得到提高(P>0.05）[43]。常顺华等[44]研究发现添加 0.20% EGM 能有效地吸附霉变饲料中的 ZEN，仔猪的生产性能明显提高，同时检测表明血液中的毒素残留减少，对仔猪过氧化损伤的程度减轻，仔猪外周血淋巴细胞转化率和血液中猪瘟抗体水平均得到提高(P>0.05)。齐娟等[45]将 3 种不同含量(0.05%、0.10%和 0.15%）的 EGM 添加到含 5 μg/mL ZEN 培养液中，发现由 ZEN 引起的外周血淋巴细胞转化率降低、丙二醛（MDA）含量增加以及超氧化物歧化酶（SOD）活力降低的现象明显改善。

目前，复合型霉菌毒素吸附剂用来吸附饲料中霉菌毒素的应用越来越多。其综合了多种单一吸附剂的特性，具有适应范围广、能吸附多种霉菌毒素等优点[46]。王慧容[47]在发霉饲料中分别添加水合硅铝酸盐、EGM 和复合型霉菌毒素吸附剂，表明它们均可在一定程度上降低 ZEN 的毒性，其中复合型吸附剂组的效果最好；张瑞星等[48]利用自主研制的复合型霉菌毒素吸附剂（主要成分为膨润土、酵母细胞壁和 EGM）研究其对肉鸡的保护作用，发现其能明显扭转霉菌毒素对肉鸡的氧化损伤和免疫毒性，提高疫苗免疫效果。

3 小 结

ZEN 具有很强的毒性，不仅使猪的繁殖机能严重受到影响，还会降低仔猪生长性能和猪免疫功能，已成为养猪业的第二大杀手。生产中常利用霉菌毒素吸附剂来降低 ZEN 的毒性，大量研究证实了这种方法的有效性。但单一霉菌毒素吸附剂的吸附效果可能不理想，目前复合型霉菌毒素吸附剂的研究相对较少，生产中可以按一定比例将不同的吸附剂混合，通过体外吸附试验筛选最优组合以获得最佳的吸附效果，并在体内试验中得到验证；同时，不同的复合型霉菌毒素吸附剂作用效果存在差异，在实际应用中要根据霉菌毒素的种类，特异性选择复合型吸附剂。另外，畜禽长期采食添加霉菌毒素吸附剂的饲料，机体内必需营养元素的吸收和利用可能会受到影响，今后还需努力探讨霉菌毒素吸附剂在饲料中的安全限量及其使用规范；还有，为了减少添加霉菌毒素吸附剂后对饲料原有成分的损失以及使机体最大程度利用饲料中的养分，可以考虑在使用霉菌毒素吸附剂的同时适当添加酸化剂、酶制剂或益生菌等，探讨其与霉菌毒素吸附剂的互作效应，以提高广大养殖企业的经济效益，促进我

国畜牧业健康、快速发展。

参考文献：

[1] 计成.霉菌毒素与饲料食品安全[M].北京:化学工业出版社,2007.

[2] DESJARDINS A E.Fusarium,mycotoxins:chemistry,genetics,and biology[M].St.Paul,MN,USA:American Phytopathological Society, ,2006:1–260.

[3] 关舒.镰孢霉菌的侵染规律、单端孢霉烯族毒素形成及调控机制[J].饲料工业,2011,32(6):44–48.

[4] 冯艳忠,沈伟,王兆山,等.霉菌毒素的研究进展[J].饲料工业,2014,35(4):58–62.

[5] 陈光明,刘建军,刘桂兰,等.霉菌毒素的研究进展[J].畜牧与饲料科学,2014,35(12):122–124.

[6] FITZPATRICK D W,PICKEN C A,MURPHY L C,et al.Measurement of the relative binding affinity of zearalenone,α-zearalenol and β-zearalenol for uterine and oviduct estrogen receptors in swine,rats and chickens:an indicator of estrogenic potencies[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part C:Comparative Pharmacology,1989,94(2):691–694.

[7] 邓友田,袁慧.玉米赤霉烯酮毒性机理研究进展[J].动物医学进展,2007,28(2):89–92.

[8] 何学军,齐德生.玉米赤霉烯酮的毒性研究进展[J].中国饲料,2006(10):2–5.

[9] 肖治军.猪玉米赤霉烯酮中毒与繁殖障碍[J].中国畜牧兽医,2005,32(2):45–46.

[10] 张丁华,王艳丰.镰刀菌及玉米赤霉烯酮对家畜繁殖性能的影响及防制[J].辽宁畜牧兽医,2004(7):11–12.

[11] MINERVINI F,DELL’AQUILA M E.Zearalenone and reproductive function in farm animals[J].International Journal of Molecular Sciences,2008,9(12):2570–2584.

[12] SCHOEVERS E J,SANTOS R R,COLENBRANDER B,et al.Transgenerational toxicity of Zearalenone in pigs[J].Reproductive Toxicology,2012,34(1):110–119.

[13] OBREMSKI K,GAJECKI M,ZWIERZCHOWSKI W,et al.The level of zearalenone and alpha-zearalenol in the blood of gilts with clinical symptoms of toxicosis,fed diets with a low zearalenone content[J].Journal of Animal and Feed Sciences,2003,12(3):529–538.

[14] ZHU L,YUAN H,GUO C Z,et al.Zearalenone induces apoptosis and necrosis in porcine granulosa cells via a caspase-3-and caspase-9-dependent mitochondrial signaling pathway[J].Journal of Cellular Physiology,2012,227(5):1814–1820.

[15] TAKAGI M,MUKAI S,KURIYAGAWA T,et al.Detection of zearalenone and its

metabolites in naturally contaminated follicular fluids by using LC/MS/MS and *in vitro* effects of zearalenone on oocyte maturation in cattle[J].Reproductive Toxicology,2008,26(2):164–169.

[16] YANG J Y,ZHANG Y F,WANG Y Q,et al.Toxic effects of zearalenone and alpha-zearalenol on the regulation of steroidogenesis and testosterone production in mouse leydig cells[J].Toxicology in Vitro,2007,21(4):558–565.

[17] GAJECKA M,RYBARCZYK L,JAKIMIUK E,et al.The effect of experimental long-term exposure to low-dose zearalenone on uterine histology in sexually immature gilts[J].Experimental and Toxicologic Pathology,2012,64(6):537–542.

[18] ALM H,GREISING T,BRÜSSOW K P,et al.The influence of the mycotoxins deoxynivalenol and zearalenol on *in vitro* maturation of pig oocytes and *in vitro* culture of pig zygotes[J].Toxicology in Vitro,2002,16(6):643–648.

[19] 单妹,许梓荣,冯建蕾.玉米赤霉烯酮对家畜繁殖性能和人体健康的影响[J].中国动物保健,2005(7):37–39.

[20] YANG J Y,WANG G X,LIU J L,et al.Toxic effects of zearalenone and its derivatives alpha-zearalenol on male reproductive system in mice[J].Reproductive Toxicology,2007,24(3/4):381–287.

[21] MINERVINI F,DELL'AQUILA M E,MARITATO F,et al.Toxic effects of the mycotoxin zearalenone and its derivatives on *in vitro* maturation of bovine oocytes and 17β-estradiol levels in mural granulosa cell cultures[J].Toxicology in Vitro,2001,15(4/5):489–495.

[22] 阚宁.饲料防霉去毒的方法[J].四川畜牧与兽医,2003,30(7):43.

[23] SAMBUU R,TAKAGI M,NAMULA Z,et al.Effects of exposure to zearalenone on porcine oocytes and sperm during maturation and fertilization *in vitro*[J].Journal of Reproduction and Development,2011,57(4):547–550.

[24] D'OCCHIO M J,HENGSTBERGER K J,JOHNSTON S D.Biology of sperm chromatin structure and relationship to male fertility and embryonic survival[J].Animal Reproduction Science,2007,101(1/2):1–17.

[25] TSAKMAKIDIS I A,LYMBEROPOULOS A G,KHALIFA T A A,et al.Evaluation of zearalenone and α-zearalenol toxicity on boar sperm DNA integrity[J].Journal of Applied Toxicology,2008,28(5):681–688.

[26] 赵虎,杨在宾,杨维仁,等.玉米赤霉烯酮对仔猪生产性能和内脏器官发育影响的研究[J].

粮食与饲料工业,2008(10):37–38.

[27] ŠPERANDA M,LIKER B,ŠPERANDA T,et al.Haematological and biochemical parameters of weaned piglets fed on fodder mixture contaminated by zearalemone with addition of clinoptilolite[J].Acta Veterinaria (Beograd),2006,56(2/3):121–136.

[28] POWELL-JONES W,RAEFORD S,LUCIER G W.Binding properties of zearalenone mycotoxins to hepatic estrogen receptors[J].Molecular Pharmacology,1981,20(1):35–42.

[29] VLATA Z,PORICHIS F,TZANAKAKIS G,et al.A study of zearalenone cytotoxicity on human peripheral blood mononuclear cells[J].Toxicology Letters,2006,165(3):274–281.

[30] SWAMY H V L N,SMITH T K,MACDONALD E J,et al.Effects of feeding a blend of grains naturally contaminated with *Fusarium mycotoxins* on swine performance,brain regional neurochemistry,and serum chemistry,and the efficacy of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent[J].Journal of Animal Science,2002,80(12):3257–3267.

[31] MARIN D E,TARANU I,BURLACU R,et al.Effects of zearalenone and its derivatives on porcine immune response[J].Toxicology in Vitro,2011,25(8):1981–1988.

[32] 姜淑贞.玉米赤霉烯酮对断奶仔猪的毒性初探及改性蒙脱石的脱毒效应研究[D].博士学位论文.泰安:山东农业大学,2010.

[33] 龚阿琼,罗金玲,胡骏鹏.2014 年我国饲料原料中霉菌毒素含量的测定与分析[J].中国饲料,2015(7):40–41.

[34] 季海霞,苏永腾.2014 年饲料霉菌毒素分析与探讨[J].养猪,2015(1):17–19.

[35] PITT J I,HOCKING A D.Mycotoxins in Australia:biocontrol of aflatoxin in peanuts[J].Mycopathologia,2006,162(3):233–243.

[36] 王青,周丹朝,赵煜,等.玉米赤霉烯酮的生殖毒性研究进展[J].畜牧兽医杂志,2014,33(4):32–35.

[37] 达富兰,薛万朝.饲料中常见的霉菌毒素及预防[J].现代畜牧科技,2015(1):22–24.

[38] AVANTAGGIATO G,HAVENAAR R,VISCONTI A.Assessing the zearalenone binding activity of adsorbent materials during passage through a dynamic *in vitro* gastrointestinal model[J].Food and Chemical Toxicology,2003,41(10):1283–1290.

[39] AFRIYIE-GYAWU E,WILES M C,HUEBNER H J,et al.Prevention of zearalenone-induced hyperestrogenism in prepubertal mice[J].Journal of Toxicology and Environmental Health,Part A Current Issues,2005,68(5):353–368.

[40] 王黎文,丁健,张建刚,等.霉菌毒素吸附剂蒙脱石对泌乳奶牛生产性能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2013,25(7):1595–1602.

[41] 张丽霞,徐学明.啤酒酵母 β–D–葡聚糖吸附毒素玉米赤霉烯酮(ZEA)的研究[J].食品科学,2006,27(4):75–78.

[42] 徐学明,张丽霞.交联羧甲基复合变性葡聚糖的合成及吸附玉米赤霉烯酮(ZEA)的研究[J].食品科学,2006,27(6):139–143.

[43] ARAVIND K L,PATIL V S,DEVEGOWDA G,et al.Efficacy of esterified glucomannan to counteract mycotoxicosis in naturally contaminated feed on performance and serum biochemical and hematological parameters in broilers[J].Poultry Science,2003,82(4):571–576.

[44] 常顺华,朱连勤,朱风华,等.酯化葡甘露聚糖作为霉菌毒素吸附剂的研究[J].饲料研究,2010(5):48–50.

[45] 齐娟,朱风华,陈甫,等.EGM 吸附 ZEN 对鸡外周血淋巴细胞的保护效应[J].饲料研究,2012(8):1–3,16.

[46] 计成,赵丽红.黄曲霉毒素生物降解的研究及前景展望[J].动物营养学报,2010,22(2):241–245.

[47] 王慧容.三种霉菌毒素吸附剂对复合霉菌毒素中毒肉鸡解毒效果的研究[D].硕士学位论文.武汉:武汉工业学院,2008.

[48] 张瑞星,黄凯,宋明明,等.霉变饲料中添加复合霉菌毒素吸附剂对肉鸡抗氧化和免疫功能的影响[J].饲料工业,2015,36(9):32–35.

Review on the Effects of Zearalenone on Swine Production and Its Toxicity Adsorption

CHEN Jifa QU Xiangyong* PENG Canyang PENG Yudong

(*College of Animal Science and Technology*, *Hunan Agricultural University*, *Changsha* 410128, *China*)

Abstract: The toxicity of zearalenone which usually appears in the main fodder is very strong. The mycotoxin adsorbent is usually applied to reduce the toxic effects of zearalenone on animal production and certain results have been achieved. This article summarizes the effects of zearalenone on reproductive function of swine, immunity, production performance of piglets and its mechanism, and introduces the development of adsorption removal of zearalenone toxicity.

Key words: zearalenone; mechanism; adsorbent; swine

*Corresponding author, professor, E-mail: quxy99@126.com (责任编辑　田艳明)